

Optimisasi *Dynamic Economic Dispatch* Menggunakan Algoritma *Artificial Bee Colony*

Nurlita Gamayanti¹, Abdullah Alkaff², Amien Karim³

Jurusan Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Surabaya, Indonesia

lita@ee.its.ac.id¹, abdullah.alkaff@gmail.com², amien_karim@gmail.com³

Abstract—Pembangkitan daya listrik yang optimal menjadi penting seiring dengan meningkatnya kebutuhan daya dan biaya bahan bakar. *Dynamic economic dispatch* diharapkan mendapatkan pembangkitan daya yang ekonomis dan tetap melayani kebutuhan daya secara andal pada sistem pembangkitan daya listrik. Beberapa karakteristik non-linier dan batasan praktis pada unit generator seperti *valve-point effect*, batasan *ramp-rate* dan batasan operasi, serta rugi-rugi transmisi pada jaringan listrik dipertimbangkan dalam perhitungan. Penelitian ini menyajikan implementasi algoritma *Artificial Bee Colony*, algoritma meta-heuristik yang terinspirasi dari tingkah laku kawanan lebah untuk menyelesaikan permasalahan *dynamic economic dispatch*. Untuk menunjukkan kelayakan dan efektifitas dari hasil optimasi, dua sistem berbeda dengan 5 unit dan 15 unit pembangkit dilakukan pengujian dengan parameter algoritma yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma *Artificial Bee Colony* mampu memberikan solusi *dispatch* yang baik dengan waktu komputasi yang cepat.

Keywords—Algoritma *Artificial Bee Colony*; batasan *ramp-rate*; *Dynamic economic dispatch*; *valve-point effect*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan tuntutan kehidupan saat ini berdampak pada meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Pembangkit listrik di Indonesia pada umumnya merupakan pembangkit listrik termal. Pembangkit listrik termal yang menggunakan energi panas untuk membangkitkan listrik membutuhkan bahan bakar fosil untuk memproduksi listrik. Jumlah ketersediaan bahan bakar fosil semakin langka, hal ini akan berdampak semakin tingginya harga. Harga bahan bakar generator yang tinggi tentunya akan membuat biaya produksi energi listrik meningkat. Pertambahan beban pada unit pembangkit termal akan mendorong pertambahan jumlah bahan bakar per satuan waktu dan pada akhirnya akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu, yang disebut masukan-luaran suatu pembangkit tenaga listrik. Salah satu solusi untuk menekan biaya produksi listrik dan efisiensi bahan bakar adalah dengan melakukan optimasi biaya bahan bakar pembangkit pada proses produksi listrik (*economic dispatch*). Optimasi biaya bahan bakar yang dilakukan saat ini masih statis atau hanya untuk satu waktu optimasi, tentunya optimasi yang dilakukan dirasa kurang dapat meminimumkan biaya produksi listrik. Diperlukan optimasi sekuensial dari unit-unit generator tidak hanya untuk satu waktu. Optimasi biaya pembangkit yang

dilakukan per satuan waktu akan menjadi optimasi biaya bahan pembangkit yang dinamis (*dynamic economic dispatch*). Optimasi dinamis juga memiliki kemampuan prediktif untuk perhitungan optimasi waktu berikutnya dan dapat sebagai penjadwalan pembangkit untuk satu hari. Pengaturan beban pembangkitan tiap unit pembangkit harus di rencanakan sebelum pembangkitan, karena kebutuhan daya tiap jam berbeda-beda dan pembangkit memiliki kemampuan laju perubahan daya yang terbatas, sehingga kemampuan prediktif sangat berguna untuk dapat melakukan perencanaan pembangkitan untuk hari berikutnya.

Sebuah pendekatan algoritma *swarm intelligence* yang berdasarkan perilaku koloni lebah dalam mencari makanan (*Artificial Bee Colony*) mampu mendapatkan solusi terbaik permasalahan optimal. Secara individu, lebah mencari makanan secara acak lalu membandingkan satu sumber makanan satu dengan lainnya dengan nilai probabilitas dan melalui pengaruh dari berkoloni, lebah berkomunikasi tentang posisi sumber makanan terbaik (solusi) dengan lebah lainnya, sehingga sumber makanan terbaik (solusi terbaik) dapat ditemukan di dalam ruang pencarian. Hal ini merupakan kecerdasan berkoloni yang dimiliki lebah dalam menyelesaikan permasalahan *Dynamic Economic Dispatch*, Algoritma *Artificial Bee Colony* diformulasikan untuk mendapatkan penjadwalan pembangkit yang optimal dan memenuhi kebutuhan permintaan beban dengan biaya seminimal mungkin dalam suatu operasi sistem tenaga listrik.

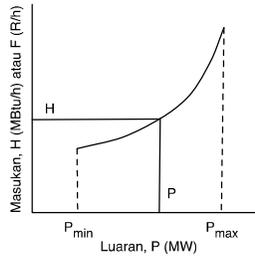
II. DASAR TEORI

A. Pembangkit Termal

Pembangkit tenaga listrik yang banyak digunakan saat ini adalah pembangkit termal. Pembangkit termal adalah proses pembangkitan listrik konvensional yang membangkitkan listrik dari energi panas. Dalam analisa permasalahan operasi sistem tenaga listrik, terdapat banyak parameter yang perlu diperhatikan. Untuk permasalahan pengoperasian sistem pembangkit tenaga listrik secara ekonomis, parameter fundamental adalah mengatur himpunan masukan-luaran dari sistem pembangkit termal [1]. Karena masukan (bahan bakar) yang dibutuhkan generator termal sangat berpengaruh terhadap luaran listrik yang dihasilkan. Laju perubahan bahan bakar proporsional terhadap daya luaran. Karakteristik masukan-

luaran dari unit pembangkit termal yang ideal, digambarkan sebagai kurva nonlinier yang kontinyu.

Pada Gambar 1 dapat dilihat karakteristik masukan-luaran pembangkit di atas terlihat bahwa masukan dari sistem yaitu energi panas yang dibutuhkan per jam dalam $H = (\text{MBtu/h})$ atau biaya total bahan bakar per jam dalam $F(\text{R/h})$, sedangkan luaran dari sistem berupa daya bersih dalam satuan MW. Pada pembangkit termal tersebut terdapat batas daya yang diizinkan dalam pengoperasian yaitu nilai daya minimal (P_{\min}) dan daya maksimal (P_{\max}) [2].



Gambar 1 Karakteristik Masukan-Luaran Pembangkit Thermal

Karakteristik masukan-luaran dari unit pembangkit pada Gambar 1 tampak pada kurva (MBtu/h) , merupakan kurva non-linier, fungsi kuadratik. Fungsi biaya bahan bakar pada generator termal merupakan sebuah fungsi kuadrat dari daya nyata pada pembangkit. Diperoleh dari kurva hubungan masukan-luaran $H(\text{MBtu/h})$ yang dikalikan dengan biaya bahan bakar (R/MBtu) sehingga menjadi fungsi $f_i(P_i)$ (1).

$$f_i(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \quad (1)$$

dimana α, β, γ adalah koefisien karakteristik masukan-luaran. Nilai konstan α ekuivalen dengan konsumsi bahan bakar dari operasi unit pembangkit tanpa luaran daya [3].

1. Valve-point Effect

Dalam pembangkit termal skala besar memiliki katup untuk pengaturan uap masuk yang membuka secara bertahap, ditujukan untuk mendapatkan luaran daya yang semakin meningkat. Efek bukaan katup ini disebut *valve-point effect* [5] terlihat pada gambar 2, terlihat efek dari 4 katup pengaturan uap terhadap kurva karakteristik masukan-luaran dari generator. Keadaan non-konveks ini harus dimasukkan dalam perhitungan untuk mendapatkan perhitungan optimasi dengan ketepatan sebaik mungkin. Sehingga persamaan karakteristik generator menjadi (2).

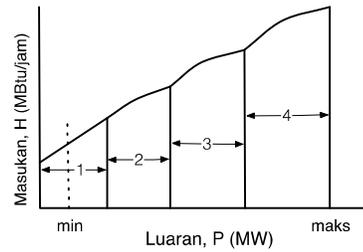
$$f_i(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + |d_i \times \sin(g_i \times (P_{i,\min} - P_i))| \quad (2)$$

Variabel d_i dan g_i merupakan variabel yang menggambarkan efek *valve point* pada generator-i.

2. Batasan Ramp-rate Generator

Batasan *ramp-rate* adalah besaran laju perubahan daya luaran per satuan waktu atau laju respon dari pembangkit [3]. pada *ramp-rate* juga terdapat laju nilai naik (UR) dan laju nilai turun (DR). Batasan *ramp-rate* digunakan untuk mencegah efek

yang tidak diinginkan akibat dinamika perubahan yang cepat dan melebihi kemampuan generator. Batasan



Gambar 2. Karakteristik Turbin Uap dengan 4 Katup Pengaturan Uap

ini akan menjadi penting saat dilakukan penjadwalan generator dalam satu periode waktu. Sehingga akan mempengaruhi batasan unit generator untuk waktu berikutnya (3).

$$P_{\min,i}^t = \max(P_{\min,i}, P_i^{t-1} - DR_i) \quad (3)$$

$$P_{\max,i}^t = \min(P_{\max,i}, P_i^{t-1} + UR_i)$$

Dimana $P_{\min,i}^t$ adalah batas minimum generator-i pada waktu t bernilai maksimum dari nilai desain batas minimum generator $P_{\min,i}$ atau luaran generator-i pada waktu $t-1$ (sebelumnya) P_i^{t-1} dikurangi dengan laju nilai turun dari generator-i DR_i . $P_{\max,i}^t$ adalah batas maksimum generator-i pada waktu t merupakan perbandingan nilai minimum dari batasan desain maksimum generator $P_{\max,i}$ dengan luaran generator-i pada waktu sebelumnya P_i^{t-1} dijumlahkan dengan laju nilai naik dari generator UR_i .

B. Dynamic Economic Dispatch

Dynamic economic dispatch adalah penjadwalan *dispatch* yang memiliki kemampuan prediktif beban untuk satu periode tertentu dengan mengkoordinasikan prediksi perubahan beban dengan kemampuan laju respon dari unit pembangkit.

Tujuan dasar dari *dynamic economic dispatch* adalah untuk menentukan luaran daya optimal dari unit-unit pembangkit listrik terhubung yang memenuhi kebutuhan beban permintaan dengan memenuhi beberapa kendala operasi untuk satu periode penyaluran daya [3]. Tentunya masih dalam tujuan utama meminimumkan biaya pembangkitan. Luaran dari *dynamic economic dispatch* adalah lintasan (trajektori) target ekonomis dari luaran pembangkitan daya. Fungsi objektif *dynamic economic dispatch* (4).

$$F_T = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N f_i(P_i^t) \quad (4)$$

Dimana $f_i(P_i)$ adalah fungsi biaya dari generator ke-i dan P_i^t adalah luaran daya dari generator ke-i pada waktu t , $\forall i \in \{1,2,3, \dots, N\}$ dan $\forall t \in \{1,2,3, \dots, T\}$.

Sesuai dengan keadaan nyata dari karakteristik unit pembangkit bahwa fungsi tujuan di atas memiliki beberapa kendala, baik kendala persamaan maupun kendala pertidaksamaan. Daya luaran tiap pembangkit harus dibawah

daya maksimum yang diperbolehkan dan di atas daya minimum yang diperbolehkan pada tiap unit (5).

$$P_{min,i} \leq P_i \leq P_{maks,i} \quad (5)$$

Batas minimum dan maksimum dari generator pada permasalahan *dynamic economic dispatch* menjadi menarik karena pengaruh dari batasan *ramp rate* generator.

$$\begin{aligned} P_i^t - P_i^{t-1} &\leq UR_i \\ P_i^{t-1} - P_i^t &\leq DR_i \end{aligned} \quad (6)$$

Tentunya untuk kondisi pembangkitan yang sesuai dibutuhkan batasan kesetimbangan daya yang menyatakan jumlah luaran pembangkitan daya pada waktu t harus sama dengan daya permintaan pada waktu t P_D^t . kondisi ini agar daya yang dibangkitkan sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Untuk menganggulangi permasalahan rugi-rugi pada transmisi, Jumlah daya yang dibangkitkan harus sama dengan daya permintaan dan rugi-rugi transmisi (7).

$$\sum_{i=1}^N P_i^t = P_D^t + P_L \quad (7)$$

Rugi-rugi daya pada saluran transmisi direpresentasikan dengan matrik koefisien- β , dalam perhitungan rugi-rugi transmisi (8).

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j \quad (8)$$

III. ALGORITMA ARTIFICIAL BEE COLONY

Terinspirasi dari kecerdasan koloni lebah madu dalam mencari makanan, algoritma *Artificial Bee Colony* diperkenalkan untuk memberikan solusi permasalahan optimasi dengan batasan optimasi yang kompleks [4].

Koloni dari lebah terdiri dari tiga kelompok; lebah pekerja, lebah penonton dan lebah pencari. pada algoritma *Artificial Bee Colony* memiliki tiga parameter kontrol berikut [5] :

1. Besar koloni (CS) yang terdiri dari lebah pekerja (Eb) dan lebah penonton, menentukan banyaknya calon solusi daya yang diperhitungkan dalam satu iterasi.
2. Nilai batas (*limit*), yang merupakan nilai batas eksplorasi nilai daya solusi baru, dan
3. Nilai siklus maksimum merupakan nilai banyak perulangan untuk mendapatkan nilai solusi minimal.

A. Inisialisasi

Tiap generator memiliki batas operasional. batas bawah daya luaran generator $P_{min,i}$ dan batas atas daya luaran generator $P_{maks,i}$. Nilai batas akan menjadikan ruang pencarian nilai solusi (9).

$$r. \text{pencarian} = P_{min}^i + (P_{maks}^i - P_{min}^i) \quad (9)$$

Algoritma ABC Menciptakan populasi solusi mula-mula secara acak, dalam hal ini adalah nilai daya luaran. Besar solusi P_j sebanyak jumlah lebah pekerja $\in \{1,2, \dots, Eb\}$. Setiap solusi $i = 1 \dots N$, N banyaknya unit pembangkit (10).

$$P_{ij} = P_{min,i} + \text{acak}[0,1](P_{maks,i} - P_{min,i}) \quad (10)$$

B. Fase Lebah Pekerja

Lebah pekerja akan memodifikasi nilai daya yang di dapatkan dan nilai daya sebelumnya dengan mencari nilai daya yang bertetangga, untuk iterasi pertama nilai sebelumnya di dapatkan dari tahap inisialisasi (11).

$$P_{ij}^{baru} = P_{ij}^{lama} + u(P_{ij}^{lama} - P_{kj}) \quad (11)$$

Dimana u adalah nilai acak antara $[-1,1]$ dengan varian uniform. P_{ij} adalah nilai daya luaran ke- j pada unit generator i . nilai $j \neq k$ dan keduanya merupakan $\in \{1,2, \dots, Eb\}$, $i = \{1,2, \dots, N\}$. Nilai daya baru akan dievaluasi dengan menghitung nilai *fitness* (12). Dimana h_j adalah nilai biaya perhitungan fungsi objektif dari solusi P_{ij} .

$$\text{fitness}_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^{CS} (1 + h_j)} \quad (12)$$

Nilai *fitness* menunjukkan kualitas dari sebuah solusi, bila P_{ij}^{baru} memiliki nilai *fitness* yang lebih baik maka nilai P_{ij}^{baru} akan disimpan, dan akan set nilai *trial*(ij) nilai percobaan pada makanan j menjadi 0 bila tidak maka nilai *trial*(i) akan bertambah. Hal ini menyangkut dengan eksploitasi dari nilai daya P_{ij} .

C. Tahap Lebah Penonton

Informasi mengenai nilai daya P_{ij} akan dibagi dengan lebah penonton di sarang. Lebah Penonton mengevaluasi setiap informasi nilai P_{ij} dan memilih nilai daya P_{ij} terbaik berdasarkan nilai probabilitas dengan persamaan (2)

$$\text{prob}_j = \frac{\text{fitness}_j}{\sum_{j=1}^{Eb} \text{fitness}_j} \quad (12)$$

Nilai daya dengan *fitness* terbaik akan mendapatkan probabilitas tertinggi [6], akan lebih dipilih oleh lebah penonton. Lebah penonton akan mendatangi nilai daya tersebut dan melakukan modifikasi dengan mencari nilai daya lain (baru) yang berada di sekitar nilai daya yang diingat dalam memori.

D. Fase Lebah Pencari

Lebah pekerja yang nilai daya yang di dapat di abaikan akan menjadi lebah pencari. Lebah pencari akan mencari nilai daya baru secara acak dengan persamaan (14)

$$P_j^i = P_{min}^i + \text{rand}(0,1)(P_{maks}^i - P_{min}^i) \quad (13)$$

Dimana P_j^i adalah nilai daya ke- j pada pembangkit i nilai P_{maks}^i adalah nilai daya maksimal dari pembangkit i dan P_{min}^i adalah nilai minimal dari pembangkit i . Pencarian nilai daya benar-benar baru tanpa petunjuk sebelumnya. Pencarian

lebih pencari terus berulang saat nilai daya diabaikan dan akan berhenti dengan batasan parameter algoritma *limit* [5].

E. Dinamisasi

Dalam algoritma dinamis dibutuhkan perulangan algoritma sesuai dengan nilai daya permintaan yang berubah. Terdapat permasalahan dinamis batasan laju perubahan daya per waktu (*ramp-rate*) akan mempengaruhi ruang pencarian solusi untuk waktu berikutnya.

$$P_{min,i}^{t+1} = \max(P_{min,i}^t, P_i^t - DR_i) \quad (14)$$

$$P_{maks,i}^{t+1} = \min(P_{maks,i}^t, P_i^t + UR_i) \quad (15)$$

Batasan daya luaran maksimal dan minimal untuk waktu berikutnya akan berubah berdasarkan pengetahuan luaran daya waktu saat ini.

Diagram alir algoritma *Artificial Bee Colony* untuk permasalahan *dynamic economic dispatch* pada Gambar 3.

IV. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian optimasi algoritma *Artificial Bee Colony* yang dirancang dilakukan pada dua sistem. Sistem pertama menggunakan dengan 5 unit generator. Kedua, sistem dengan 15 generator. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma dan perbandingan perhitungan algoritma. Untuk itu dilakukan dengan variasi parameter algoritma, besar koloni dan siklus maksimal. Salah satu parameter, limit dapat ditentukan dari rekomendasi [4,5] pada (17).

$$limit = \frac{CS * D}{2} \quad (17)$$

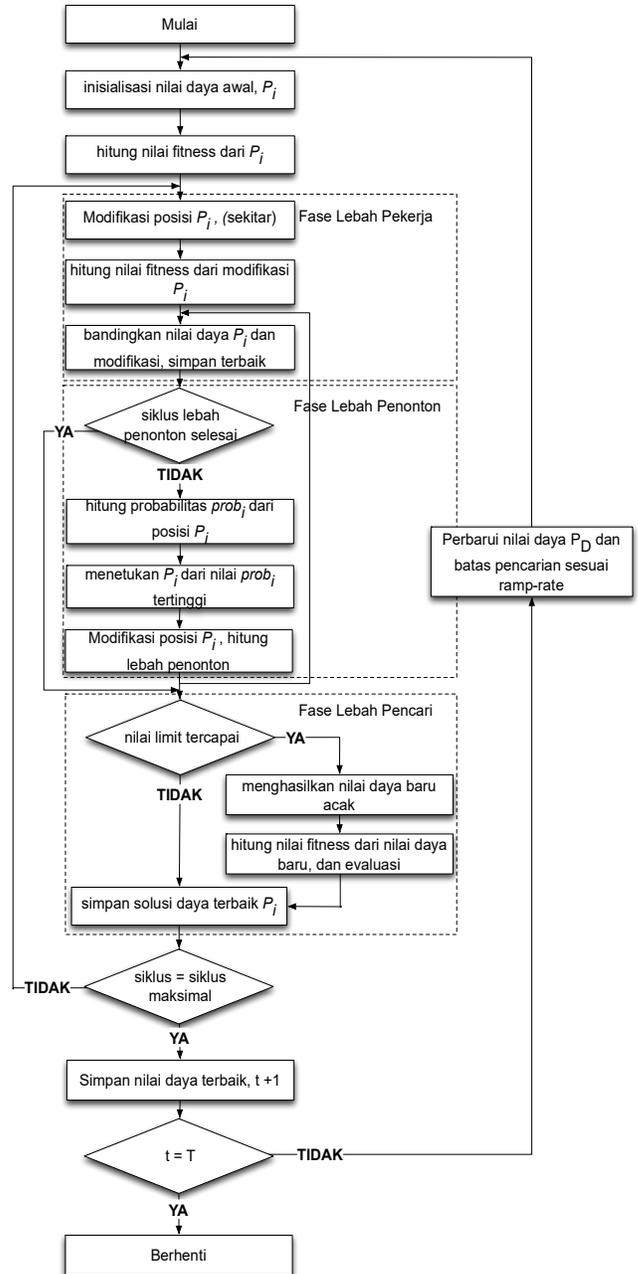
Karena metode heuristic, pengujian dilakukan sekurangnya 30 kali percobaan untuk mendapatkan nilai rata-rata.

A. Sistem dengan 5 Unit Generator

Sistem yang akan dilakukan optimasi biaya pembangkitan memiliki 5 unit generator dengan dan tanpa memperhitungkan efek *valve-point*. Karakteristik pembangkit terdapat pada Tabel 1. Permintaan daya tiap waktu selama 24 jam dan matriks koefisien- β rugi-rugi transmisi dari [2]. Hasil pengujian algoritma *Artificial Bee Colony* pada sistem dengan 5 unit generator mendapatkan hasil pencarian biaya pembangkitan minimum dari sistem tampak pada Tabel 2. Dan grafik optimasi biaya pembangkitan oleh algoritma *Artificial Bee Colony* dalam tiap iterasi dan besar koloni pada Gambar 4.

Dari hasil pencarian algoritma *Artificial Bee Colony* pada permasalahan sistem dengan 5 unit generator. Biaya pembangkitan yang diperoleh menunjukkan parameter algoritma yaitu besar koloni dan nilai siklus algoritma berpengaruh terhadap biaya pembangkitan daya. Semakin besar koloni dan semakin banyak jumlah siklus menghasilkan biaya yang lebih minimal, namun memberikan waktu komputasi lebih lama dan melakukan perhitungan komputasi tidak efektif karena perubahan nilai tidak signifikan karena hanya selisih biaya pembangkitan $\pm 1\%$ sedangkan waktu komputasi yang lebih lama hingga 4x lipat.

Pengaruh *valve-point effect* pada biaya pembangkitan pada kondisi yang sama mempengaruhi biaya pembangkitan $\pm 22\%$. Tampak pada Gambar 4, Grafik optimasi hubungan antara biaya pembangkitan dengan iterasi. Pada grafik optimasi tampak biaya pembangkitan turun seiring dengan bertambahnya iterasi. Pada iterasi ke 40-50 grafik menunjukkan nilai konvergen. Besar koloni mempengaruhi kecepatan pencarian nilai optimasi mendapatkan nilai konvergen.



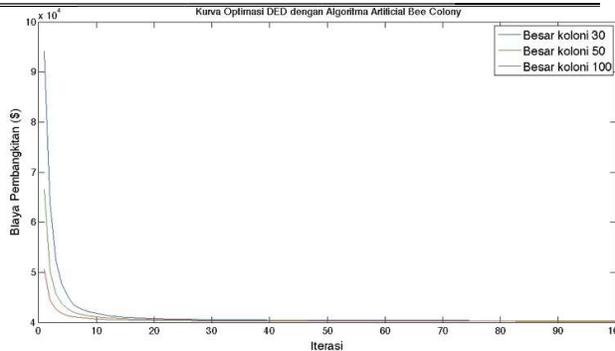
Gambar 3 Diagram Alir Algoritma *Artificial Bee Colony* untuk *dynamic economic dispatch*

Tabel 1. Karakteristik Sistem 5 Unit Pembangkit

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
α_i (\$/MW ² h)	0.0080	0.0030	0.0012	0.0010	0.0015
β_i (\$/MWh)	2.0	1.8	2.1	2.0	1.8
γ_i (\$/MW)	25	60	100	120	40
d_i (\$/h)	100	140	160	180	200
g_i (1/MW)	0.042	0.040	0.038	0.037	0.035
P_{\min} (MW)	10	20	30	40	50
P_{\max} (MW)	75	125	175	250	300
UR (MW/h)	30	30	40	50	50
DR (MW/h)	30	30	40	50	50

Tabel 2. Perbandingan Hasil dengan *Valve Point Effect* dan Tanpa *Valve Point Effect* Sistem 5 Unit

Besar Koloni	Siklus	Biaya Pembangkitan		Lama Komputasi
		Tanpa VPE	Dengan VPE	
30	50	40814	53043	4 detik
	100	40554	52384	8 detik
	200	40396	52356	16 detik
50	50	40476	52530	7 detik
	100	40363	52299	14 detik
	200	40250	52168	27 detik
100	50	40363	52430	13 detik
	100	40275	52196	27 detik
	200	40221	52016	57 detik



Gambar 4 Grafik Optimasi Algoritma Artificial Bee Colony untuk sistem dengan 5 Pembangkit

B. Sistem dengan 15 Unit Generator

Sistem yang akan dioptimasi sistem dengan 15 Unit generator. Karakteristik generator ditunjukkan pada Tabel 4 Pada kasus ini, *valve-point effect* diabaikan. Permintaan daya tiap jam dan Rugi-rugi transmisi direpresentasikan dalam matriks koefisien- β seperti pada [7]. akan dilakukan pengujian algoritma *Artificial Bee Colony* untuk mendapatkan biaya pembangkitan dinamis untuk 24 jam yang ekonomis dan andal.

Tabel 4. Karakteristik Sistem 15 unit Pembangkit

Unit	α_i (\$/MW ² h)	β_i (\$/MWh)	γ_i (\$/MW)	P_{\min} (MW)	P_{\max} (MW)	UR (MW/h)	DR (MW/h)
1	0.000299	10.1	671	150	455	80	120
2	0.000183	10.2	574	150	455	80	120
3	0.001126	8.8	374	20	130	130	130

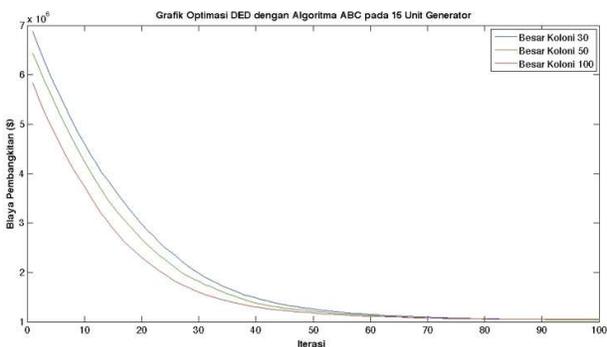
Unit	α_i (\$/MW ² h)	β_i (\$/MWh)	γ_i (\$/MW)	P_{\min} (MW)	P_{\max} (MW)	UR (MW/h)	DR (MW/h)
4	0.001126	8.8	374	20	130	130	130
5	0.000205	10.4	461	150	470	80	120
6	0.000301	10.1	630	135	460	80	120
7	0.000364	9.8	548	1350	465	80	120
8	0.000338	11.2	227	60	300	65	100
9	0.000807	11.2	173	25	162	60	100
10	0.001203	10.7	175	25	160	60	100
11	0.003586	10.2	186	20	80	80	80
12	0.005513	9.9	230	20	80	80	80
13	0.000371	13.1	225	25	85	80	80
14	0.001929	12.1	309	15	55	55	55
15	0.004447	12.4	323	15	55	55	55

Hasil biaya total pembangkitan setelah dilakukan pengujian tiap kombinasi mendapatkan daya tiap jam, biaya minimal dan biaya maksimal serta lama waktu komputasi terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Biaya pembangkitan dengan Variasi Parameter Algoritma

Besar Koloni	Siklus	Biaya Minimal	Biaya Maksimal	Biaya Rata-rata	Lama Komputasi
30	50	1039453	1476962	1249743	4 detik
	100	991366	1150076	1042699	9 detik
	200	958409	1130499	1040357	17 detik
50	50	1190858	1014605	1190858	8 detik
	100	954775	1153373	1038761	15 detik
	200	960922	1142826	1036140	30 detik
100	50	970358	1308505	1147004	15 detik
	100	967306	1145403	1029097	29 detik
	200	969717	1071907	1028349	58 detik

Pada Tabel 5 menunjukkan penurunan biaya pembangkitan seiring dengan peningkatan besar koloni dan siklus maksimum. Grafik optimasi algoritma *Artificial Bee Colony* pada permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* dengan 15 unit pembangkit ditunjukkan pada Gambar 5. dimana tampak biaya pembangkitan yang turun seiring dengan banyak siklus dan grafik konvergen pada iterasi ke 100. Jumlah koloni juga berpengaruh terhadap hasil optimasi, semakin besar koloni maka semakin cepat mencapai nilai konvergen.



Gambar 5 Grafik Optimasi Algoritma Artificial Bee Colony untuk sistem 15 Pembangkit

V. KESIMPULAN

Algoritma *Artificial Bee Colony* mampu melakukan optimasi permasalahan *dynamic economic dispatch* dengan baik, tanpa ditemukan pelanggaran terhadap kendala-kendala perhitungan dan mampu memenuhi kebutuhan daya untuk tiap waktu. Semakin banyak unit pembangkit yang dimasukkan dalam perhitungan, maka dibutuhkan besar koloni dan siklus yang lebih banyak untuk mendapatkan hasil nilai optimasi yang optimal konvergen

- [1] A.J. Wood, "Power Generation, Operation, and Control." 2nd. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] F.S. Abu-Mouti, M.E. El-Hawary, "Optimal Dynamic Economic Dispatch Including Renewable Energy Source Using Artificial Bee Colony Algorithm," *Systems Conference (SysCon), 2012 IEEE International*, vol., no., pp.1,6, 19-22 March 2012.
- [3] D.W. Ross, S. Kim, "Dynamic Economic Dispatch of Generation," *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, vol.PAS-99, no.6, pp.2060,2068, Nov. 1980.
- [4] D. Karaboga, B. Basturk, "On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm", *Applied Soft Computing*, Volume 8, Issue 1, January 2008, Pages 687-697, ISSN 1568-4946, 10.1016/j.asoc.2007.05.007.
- [5] D.Karaboga. "An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization," Technical Report-tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department. 2005.
- [6] K. Deb, "An Efficient Constraint Handling Method for Genetic Algorithms," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 186, no. 2-4, pp. 311-338, 2000.
- [7] L. Zhang, W. Gao-Xia, Z. Jun, H. Xiao-Gang, L. Peng, "Artificial Bee Colony Algorithm for Optimal Dynamics Dispatch Problem," *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2012 4th International Conference on*, vol.1, no., pp.314,317, 26-27 Aug. 2012.
- [8] M. Atya, "Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization untuk Menyelesaikan Permasalahan Dynamic Economic Dispatch dengan Memperhatikan Rugi-rugi Transmisi dan Valve-point Effect". ITS. 2013.